

TNO-rapport
TM-96-A021

titel

Helpt predictie-informatie in de cockpit bij het opsporen van doelvliegtuigen?

DINA 14500 1996-08-01
Aerodynamics and Control
Exhibition: Underline

TNO Technische Menskunde

19960801 143



□ □ □ □ □

TNO-rapport
TM-96-A021

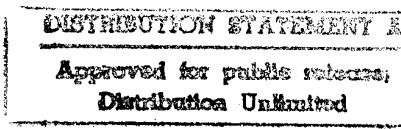
titel
**Helpt predictie-informatie in de cockpit
bij het opsporen van doelvliegtuigen?**

TNO Technische Menskunde

Kampweg 5
Postbus 23
3769 ZG Soesterberg
Telefoon 0346 35 62 11
Fax 0346 35 39 77

auteurs
L. van Breda
J.A. Veltman

datum
6 mei 1996



Alle rechten voorbehouden.
Niets uit deze uitgave mag worden
vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt
door middel van druk, fotokopie, microfilm
of op welke andere wijze dan ook, zonder
voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd
uitgebracht, wordt voor de rechten en
verplichtingen van opdrachtgever en
opdrachtnemer verwezen naar de
Algemene Voorwaarden voor onderzoeks-
opdrachten aan TNO, dan wel de
betreffende terzake tussen partijen
gesloten overeenkomst.
Het ter inzage geven van het TNO-rapport
aan direct belanghebbenden is toegestaan.

aantal pagina's : 30 (incl. bijlagen,
excl. distributielijst)

© 1996 TNO

DTIC QUALITY INSPECTED 1

TNO Technische Menskunde is onderdeel
van TNO Defensieonderzoek
waartoe verder behoren:
TNO Fysisch en Elektronisch Laboratorium
TNO Prins Maurits Laboratorium



Nederlandse Organisatie voor toegepast-
natuurwetenschappelijk onderzoek TNO

titel : Helpt predictie-informatie in de cockpit bij het opsporen van doelvliegtuigen?
auteurs : Ing. L. van Breda en drs. J.A. Veltman
datum : 6 mei 1996
opdrachtnr. : A89/KLu/335
IWP-nr. : 788.1
rapportnr. : TM-96-A021

Bij TNO Technische Menskunde wordt in opdracht van de Koninklijke Luchtmacht achtergrond-kennis opgebouwd inzake de effecten van geavanceerde interface principes in de cockpit op vliegprestatie, (des)oriëntatie en werklast. In dit verband werd in een eerder onderzoek nagegaan in hoeverre perspectivisch gepresenteerde radar-informatie de egocentrische oriëntatie van de vlieger, dat wil zeggen de positiebepaling van andere objecten in de ruimte in relatie tot de eigen positie, bevordert. Een goede egocentrische oriëntatie is essentieel voor bijvoorbeeld het snel en efficiënt kunnen opsporen van doelvliegtuigen. In het onderhavig onderzoek werd nagegaan in hoeverre het toevoegen van informatie over de toekomstige baan van een doelvliegtuig (predictie) aan het perspectivisch radarbeeld helpt bij het opsporen van die doelvliegtuigen. Daarbij werden aan acht vliegers in een simulator scenario's aangeboden met de opdracht een doelvliegtuig, dat zich initieel in een willekeurige richting op een vaste afstand rond het eigen vliegtuig bevond, zo snel mogelijk op te sporen. Bij deze taak werden de vliegers ondersteund met een perspectivisch exocentrisch radarbeeld met inside-out bewegingsreferentie. In twee experimentele condities werd daar grafische predictie-informatie aan toegevoegd: op basis van extrapolatie van translatie van eigen vliegtuig en doelvliegtuig, en op basis van translatie en pitch. De moeilijkheid van de scenario's werd gevarieerd door het op te sporen doelvliegtuig van de waarnemer af of naar de waarnemer toe te laten vliegen.

Uit de resultaten van het experiment blijkt dat vliegers niet in staat waren het doelvliegtuig sneller op te sporen wanneer predictie-informatie aan het radarbeeld werd toegevoegd. Het perspectivisch radarbeeld biedt zulke goede mogelijkheden tot anticipatie dat het niet mogelijk bleek door het aanbieden van additionele predictie-informatie de doelzoektijd verder te verkorten. Er werd zelfs een trend gesignaleerd tot verminderde zoekprestatie. De oorzaak daarvan moet gezocht worden in het feit extra informatie de complexiteit van het display verhoogt. Hierdoor gaat de interpretatie van informatie meer tijd kosten waardoor deze informatie contra-produktief kan zijn (display clutter). Aanbevolen wordt in een vervolgstudie na te gaan in hoeverre de situational awareness van de vlieger verder kan worden verbeterd. De resultaten van voorgaande experimenten suggereren namelijk dat er met inside-out bewegingsreferentie vaker ontoelaatbaar laag wordt gevlogen.

VERZENDLIJST

1. Directeur M&P DO
2. Directie Wetenschappelijk Onderzoek en Ontwikkeling Defensie
Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL
3. {
Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KL
4. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KLu
Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM
5. {
Plv. Hoofd Wetenschappelijk Onderzoek KM
- 6, 7 en 8. Bibliotheek KMA, Breda
- 9 t/m 13. Maj.drs. W. van der Borg, Directie Personeel KLu, Afd. Gedragswetenschappen,
Den Haag

Extra exemplaren van dit rapport kunnen worden aangevraagd door tussenkomst van de HWOs of de DWO.

| | Blz. |
|--|------|
| INHOUD | |
| SAMENVATTING | 5 |
| SUMMARY | 6 |
| 1 INLEIDING | 7 |
| 1.1 Achtergrond | 7 |
| 1.2 Predictie | 9 |
| 1.3 Het experiment | 11 |
| 1.4 Verwachte resultaten | 11 |
| 2 METHODE | 12 |
| 2.1 Proefpersonen | 12 |
| 2.2 Simulator | 12 |
| 2.3 Taak | 15 |
| 2.4 Condities | 15 |
| 2.5 Scenario's | 18 |
| 2.6 Procedure | 18 |
| 2.7 Afhankelijke variabelen en analyse | 19 |
| 3 RESULTATEN | 19 |
| 4 DISCUSSIE | 22 |
| 5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN | 23 |
| REFERENTIES | 24 |
| BIJLAGE 1 Technische specificaties van de TNO-TM vliegsimulator | 26 |
| BIJLAGE 2 BeoordelingsSchaal Mentale Inspanning (BSMI) | 28 |
| BIJLAGE 3 Scenario's | 29 |
| BIJLAGE 4 Opzet van het experiment | 30 |

Rapport nr.: TM-96-A021

Titel: Helpt predictie-informatie in de cockpit bij het opsporen van doelvliegtuigen?

Auteurs: Ing. L. van Breda en drs. J.A. Veltman

Instituut: TNO Technische Menskunde
Afd.: Vaardigheden

Datum: mei 1996

DO Opdrachtnummer: A89/KLu/335

Nummer in MLTP: 788.1

SAMENVATTING

Bij TNO Technische Menskunde wordt in opdracht van de Koninklijke Luchtmacht achtergrondkennis opgebouwd inzake de effecten van geavanceerde interface principes in de cockpit op vliegprestatie, (des)oriëntatie en werklast. In dit verband werd in een simulator-experiment nagegaan in hoeverre het aanbieden van informatie over de toekomstige baan van een doelvliegtuig (predictie) helpt bij het opsporen van doelvliegtuigen. Daarbij werden aan acht vliegers scenario's aangeboden met de opdracht een doelvliegtuig, dat zich initieel in een willekeurige richting op een vaste afstand rond het eigen vliegtuig bevond, zo snel mogelijk op te sporen. Bij deze taak werden de vliegers ondersteund met een perspectivisch exocentrisch radarbeeld met inside-out bewegingsreferentie. In twee experimentele condities werd daar grafische predictie-informatie aan toegevoegd: op basis van extrapolatie van translatie van eigen vliegtuig en doelvliegtuig, en op basis van translatie en pitch. De moeilijkheid van de scenario's werd gevarieerd door het op te sporen doelvliegtuig van de waarnemer af of naar de waarnemer toe te laten vliegen.

Uit de resultaten van het experiment blijkt dat vliegers niet in staat waren het doelvliegtuig sneller op te sporen wanneer predictie-informatie aan het radarbeeld werd toegevoegd. Het perspectivisch radarbeeld biedt zulke goede mogelijkheden tot anticipatie dat het niet mogelijk bleek de doelzoektijd te verkorten. Er werd zelfs een trend gesignaliseerd tot verminderde zoekprestatie. De oorzaak daarvan moet gezocht worden in het feit dat te veel informatie de interpretatie benadeelde (display clutter). Aanbevolen wordt in een vervolgstudie na te gaan in hoeverre de situational awareness van de vlieger verder kan worden verbeterd. De resultaten van voorgaande experimenten suggereren namelijk dat er met inside-out bewegingsreferentie vaker ontoelaatbaar laag wordt gevlogen.

Predictive information in the cockpit as a target acquisition aid

L. van Breda and J.A. Veltman

SUMMARY

Under contract to the Royal Netherlands Airforce, the TNO Human Factors Research Institute conducts background research concerning effects of advanced interface principles in the cockpit on flight performance, (des)orientation and workload. In this connection, a simulator experiment was conducted to investigate the potential benefits of predictive information for tracking targets. Eight fighter pilots had to trace as soon as possible a target aircraft, initially flying from an arbitrary position at a fixed distance from the own aircraft. During the search of the target aircraft, the pilots received visual support by a perspective exocentric radar display with inside-out motion reference. In two experimental conditions, additional predictive graphics information was presented: based on extrapolation of translations of own aircraft and target aircraft, and based on translation and pitch. The difficulty of the scenarios was varied by directing the target towards and away from the observator.

The experimental results show that pilots were not able to find the target faster when additional predictive information was presented in the radar image. The perspective radar display offered so many anticipation possibilities that no increase of target search time was possible. There even appeared a tendency to decreased search performance. This may be caused by the fact that too much information deteriorated the interpretation (display clutter). A follow-up study is proposed, investigating whether the situational awareness of the pilot still can be increased. The results of the ongoing experiments suggest that inside-out referenced displays cause more frequent controlled flight into ground.

1 INLEIDING

1.1 Achtergrond

Als gevolg van technologische ontwikkelingen verbetert de informatievoorziening in de cockpit van gevechtsvliegtuigen in hoog tempo. Er is daarbij niet alleen sprake van grote toename van de hoeveelheid aangeboden informatie, het is bovendien mogelijk de kwaliteit te verhogen, bijvoorbeeld door het verder integreren van voor de vlieger relevante informatie (Schwartz & Adams, 1987; Passenier, 1996; Korteling, Van Gent & Van der Borg, 1995). Zo worden technieken aangewend om het verticale situatie display (pitch, roll, heading, elevation) en het horizontale situatie display (vluchtpad van het vliegtuig geprojecteerd op de kaartinformatie) gecombineerd weer te geven in een perspectivisch beeld. Met grafische computer technieken worden dan beelden gegenereerd van een “projected flight-path” in een gestileerde omgeving (Hollister, 1986). Het synthetische omgevingsbeeld bevat dan tactische informatie als locatie en mogelijkheden van eigen eenheden, en locatie en dreiging van vijandelijke eenheden. Deze vorm van presentatie wordt ook wel het “glass cockpit” principe genoemd.

Tegen deze achtergrond wordt bij TNO Technische Menskunde (TNO-TM) in opdracht van de Koninklijke Luchtmacht (KLu) onderzoek uitgevoerd met als doel na te gaan hoe missie-relevante informatie zo efficiënt mogelijk aan de vlieger kan worden aangeboden. In een oriënterend onderzoek werd kennis verzameld over principes van informatiepresentatie in de cockpit (o.a. highway-in-the-sky), over het besturen van helikopters of onbemande vliegtuigen met geavanceerde besturingsmiddelen, zoals actieve stuurnuppels en over effecten van verschillende vormen van anticipatie (Korteling & Van Gent, 1994), en over 3D audio display in de cockpit als hulp bij het opsporen van een doelvliegtuig (Veltman, Van Breda & Bronkhorst, 1994). Tenslotte werd een simulatorexperiment uitgevoerd waarin werd nagegaan in hoeverre perspectivisch gepresenteerde radarinformatie de egocentrische oriëntatie van de vlieger, dat wil zeggen de positiebepaling van andere objecten in de ruimte in relatie tot zijn eigen positie, bevordert (Van Breda & Veltman, 1995). Een juiste egocentrische oriëntatie is immers *essentieel* voor het goed kunnen opsporen van doelvliegtuigen. Bij het betreffende experiment hadden jachtvliegers de beschikking over een tactisch display en een aanvullend situatiedisplay (radarbeeld) voor het lokaliseren van doelen in het luchtruim. Een zogenaamd exocentrisch perspectivisch radarbeeld—de vlieger keek als het ware vanuit een willekeurig punt in het luchtruim naar het eigen vliegtuig en omgeving (Prevett & Wickens, 1994)—zou geschikt zijn voor het ondersteunen van stuurtaken die overzicht van het luchtruim vereisen (men spreekt dan van *global awareness*). Door vormgeving en dynamisch gedrag van het radarbeeld zou de vlieger zeer goed in staat zijn het effect van de eigen stuurhandelingen in te schatten (anticiperen). Uit de resultaten van het experiment bleek dat de egocentrische oriëntatie van de vlieger goed werd ondersteund wanneer het exocentrisch display was voorzien van zogenaamde inside-out bewegingsreferentie. Dit houdt in dat in het gepresenteerde radarbeeld bij verandering van pitch en roll de afbeelding van de buitenwereld roteert en het eigen vliegtuig (vleugel)vlak stabiel blijft. Het beeld is dan compatibel met het waargenomen omgevingsbeeld en toont dezelfde relatieve bewegingen van objecten als gezien vanuit de cockpit. Het eigen vliegtuig is dan de referentie en de buitenwereld draait daaromheen. De gevolgde zoekstrategie bleek in dat geval zeer goed te zijn, ongeacht de richting waarin het doelvliegtuig zich bevond. Ten

opzichte van een conventionele 2D radar was de zoektijd dan vrijwel gehalveerd. Het is evenwel de vraag of de zoektijd nog verder verkort zou kunnen worden. Het is bijvoorbeeld mogelijk dat de vlieger met de gebruikte perspectivische radarbeelden het gedrag van het doelvliegtuig ten opzichte van eigen vliegtuig niet optimaal kon inschatten. Er was namelijk sprake van een genormeerd display waardoor radiale verplaatsing van het doel niet werd getoond. Mogelijk zou dit tekort aan informatie aangevuld kunnen worden door het toepassen van voorspeltechnieken (predictie). Het onderhavige onderzoek gaat in op deze vraag en richt zich op de toepassing van predictietechnieken ter verbetering van de anticipatie, mogelijk leidend tot een nog efficiënter zoekgedrag van jachtvliegers.

De taak van de tegenwoordige gevechtsvlieger bestaat naast management taken uit een aantal specifieke taken, zoals bijvoorbeeld navigeren, communiceren en het peilen van doelen. Vooral in een zogenaamde ‘dog fight’ situatie, waarbij het gevechtsvliegtuig in principe te maken heeft met één ander (vijandelijk) vliegtuig, is het van cruciaal belang dat de vlieger goed is geïnformeerd over positie en gedrag van het doelvliegtuig. Bij het opsporen van doelvliegtuigen dient de vliegrichting van het eigen vliegtuig zo snel en zo nauwkeurig mogelijk in de richting van het doelvliegtuig te worden gebracht. Optimale zoekstrategie wordt gekenmerkt door een zodanige rolhoek in te stellen dat alleen met “positief G-trekken” het doelvliegtuig wordt bereikt. De vlieger anticipeert daarbij op de afwijking tussen de eigen vliegrichting en het vermoedelijke traject van het doelvliegtuig (interceptie). In het onderhavige experiment kan de vlieger op basis van waargenomen positie- en oriëntatie-verandering het vermoedelijk verloop van de baan van het doelvliegtuig afleiden. Hij heeft daarvoor twee typen informatie ter beschikking: een tactisch display en een situatie display (zie ook Van Breda & Veltman, 1995). Het tactisch display toont een gestileerd omgevingsbeeld met daarin tactische informatie als dreigingsgebieden en doelvliegtuigen. Het doelvliegtuig is daarin aangegeven door een kruisvormig symbool en is alleen zichtbaar wanneer deze zich binnen een hoek van 10 graden bevindt met de eigen vliegrichting. De absolute afstand is daarbij niet van belang. Het situatie display daarentegen vertegenwoordigt het radarbeeld en toont de relatieve positie van doelvliegtuigen in een perspectivische afbeelding van het luchtruim rondom het eigen vliegtuig. Dit situatie display (Fig. 1) bestaat uit een perspectivisch-sferisch radarbeeld dat is opgebouwd uit twee aaneengesloten bolhelften, waarvan de ene helft het gebied boven de horizon en de andere helft het gebied onder de horizon aangeeft. Het eigen vliegtuig bevindt zich in het centrum van de bol en wordt weergegeven als perspectivisch vliegtuigsymbool. De kijkrichting is altijd heading-up. Het doelvliegtuig wordt als een wit bolletje afgebeeld op de schil van het sferisch radarbeeld. De afstand tot het doel is genormeerd; dit betekent dat een doelvliegtuig dat zich ergens in het omringende luchtruim bevindt altijd op de schil van de bol wordt geprojecteerd, ongeacht de werkelijke afstand. Vandaar dat de werkelijke afstand is weergegeven op een extra lineaire indicator, naast het radarbeeld. De bewegingsreferentie is inside-out, d.w.z. de doorsnijding van eigen vliegtuylak en bol is altijd horizontaal georiënteerd, terwijl de bol-helften worden gepositioneerd als functie van pitch en roll. De positie van het doelvliegtuig in de afbeelding wordt beïnvloed door roll, pitch en heading van het eigen vliegtuig. Als bijvoorbeeld het eigen vliegtuig, zelf in een bocht naar rechts, links achter het doelvliegtuig vliegt en lager, dan wordt het doelvliegtuig-symbool verticaal boven in de bol gepresenteerd. Het eigen vliegtuig-symbool blijft altijd horizontaal afgebeeld.

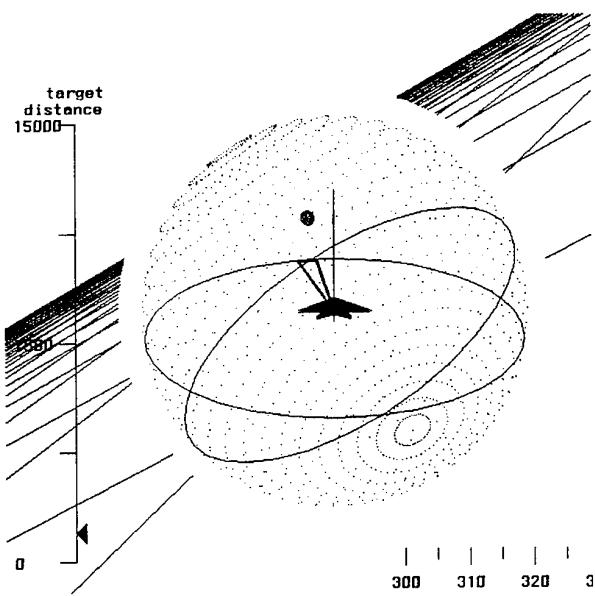


Fig. 1 Een schematische voorstelling van het perspectivisch exocentrisch radarbeeld: het doelvliegtuig wordt weergegeven op de schil van een sferische voorstelling van het luchtruim, het eigen vliegtuig bevindt zich in het centrum. Het verticale lijntje op de bol duidt het vizier aan.

De enorme reductie in zoektijd die met deze vorm van informatiepresentatie werd gerealiseerd kan verklaard worden doordat de gepresenteerde informatie compatibel is met het vanuit de cockpit waargenomen omgevingsbeeld, en doordat informatie uit het horizontale en verticale vlak geïntegreerd is weergegeven. De gestippelde structuur van het sferisch display biedt goede mogelijkheden tot anticipatie, zodat de te vliegen route naar het doelvliegtuig sneller en beter wordt bepaald (zie ook Van Breda & Veltman, 1995). Deze vorm van anticipatie berust evenwel op waarneming van het *actuele* gedrag van het doelvliegtuig. Wellicht is het mogelijk de doelzoektijd verder te verkorten door te anticiperen op kennis van het *toekomstig* gedrag van het doelvliegtuig, bijvoorbeeld op basis van grafische predictie-informatie in het sferisch radarbeeld. Vooral in situaties waarbij het doel zich in de richting van het eigen vliegtuig verplaatst zou door de vlieger nog sneller gereageerd kunnen worden.

1.2 Predictie

Het hierboven beschreven genormeerde display biedt weliswaar goede mogelijkheid tot anticipatie, het waarnemen van vooral afstandverandering tot het doelvliegtuig is niet goed mogelijk, met het gevolg dat daarop mogelijk niet voldoende geanticipeerd kan worden. Het probleem is dat mensen niet goed in staat zijn op grond van de informatie die op een bepaald tijdstip aanwezig is toekomstige uitkomsten van een systeem te voorspellen (Korteling e.a., 1995). De toekomstige positie van een doelvliegtuig wordt onder andere bepaald door (hoek)snelheid en versnelling (de hogere afgeleiden) en juist met het waarnemen van

deze afgeleiden heeft de vlieger moeite (Kelley, 1968). Het aanbieden van predictie-informatie blijkt een effectieve manier te zijn om het werkgeheugen van de vlieger te ontlasten en het nemen van beslissingen over besturingshandelingen te ondersteunen (Stokes, Wickens & Kite, 1990; Passenier, 1989; Van Breda, Passenier & Schuffel, 1990). Met de informatie over de voorspelde (relatieve) positie van het doelvliegtuig (predictie) zou de vlieger op basis van verschillen tussen huidige en voorspelde positie nog beter kunnen anticiperen met het gevolg het verschil in zoektocht tussen makkelijke en moeilijke scenario's verder wordt gereduceerd.

Predictie wordt verkregen door het vlieggedrag van zowel het eigen vliegtuig als het doelvliegtuig te bemonsteren. Op basis van extrapolatie kan dan een voorspelling worden gemaakt over de toekomstige (relatieve) positie van het doel vanuit het punt van waarneming. Zowel actuele als toekomstig berekende relatieve positie van het doel worden in het radarbeeld weergegeven. De predictie zelf kan op verschillende manieren plaatsvinden. Zo kan bijvoorbeeld de verplaatsing van eigen vliegtuig en doelvliegtuig worden bemonsterd en aan de hand van extrapolatie toekomstige posities worden berekend en weergegeven. Daarbij wordt er van uitgegaan dat het vlieggedrag op korte termijn niet verandert. Men noemt dat *extrapolatie op basis van translatie*. Het gedrag van gevechtsvliegtuigen wordt echter ook bepaald door pitch en roll, zodat die vrijheidsgraden ook bij de predictie betrokken zouden moeten worden. Vooral de pitch is daarbij van belang; aangezien die primair de snelheid bepaalt waarmee gemanoeuvreerd wordt. Roll bepaalt alleen de richting waarin dat plaatsvindt. Vandaar dat *extrapolatie op basis van translatie en pitch* een tweede zinvolle manier van predictie lijkt. Op die manier wordt meer inzicht verkregen over het gedrag van het eigen vliegtuig. Wordt de roll daar ook bij betrokken, dan is er een probleem: door het grote verschil in dynamisch gedrag tussen pitch en roll kan in de vastgestelde predictietijd wel vijf maal een volledige 'roll' van 360° gemaakt worden tegen een pitchverandering van 180° . Bij inside-out bewegingsreferentie verandert de positie van het doel analoog waardoor de predictie niet meer is te interpreteren. Vandaar dat de roll bij predictie buiten beschouwing is gelaten.

Het is duidelijk dat er meerdere methoden zijn om de voorspelde baan van een doelvliegtuig te berekenen en te presenteren. Zoals hierboven werd aangegeven is predictie gebaseerd op het bemonsteren van de posities van eigen vliegtuig en doelvliegtuig, en het met behulp daarvan berekenen van de toekomstige relatieve baan van het doelvliegtuig. Dit gebeurt op basis van een predictie-model. Zo'n model kan in zijn eenvoudigste vorm bestaan uit lineaire extrapolatie van bemonsterde positie en berekende snelheden; een uitbreiding kan daaraan extrapolatie van de rotaties toevoegen. Nagegaan moet worden welke vrijheidsgraden relevant zijn voor extrapolatie. Het heeft immers geen zin om variabelen gezamenlijk te extrapoleren waarvan het dynamisch gedrag in de tijd zoveel verschillen dat het ene signaal kan worden beschouwd als ruis op het andere signaal. Pitch en roll zijn daarvan een goed voorbeeld; er is sprake van een te groot verschil in tijdconstante. Bij de bovengenoemde vormen van predictie wordt er bij berekening van de voorspellingen steeds vanuit gegaan dat de geëxtrapoleerde variabelen in de toekomst niet veranderen. In werkelijkheid is dat natuurlijk niet het geval. Het predictie model in zijn optimale vorm zou dan ook gebaseerd moeten zijn op enerzijds extrapolatie van (hoek)snelheden en (hoek)versnellingen van het doelvliegtuig en anderzijds op een vliegdynamisch model voor berekening van de toekomstige baan van het eigen vliegtuig. Deze optie is evenwel tamelijk complex. Aangezien de

onderhavige studie van oriënterende aard is werd gekozen voor predictie op basis van extrapolatie van snelheden en hoeksnelheden.

Aan de hand van pilot sessies in de simulator werd gekozen voor een voorspeltijd van 10 s. Dit komt overeen met de tijd die nodig is om de vliegrichting 180° te verleggen. Het achterliggende idee is dat bij een kortere predictietijd grote relatieve positieveranderingen bij een tegemoetkomend doelvliegtuig te laat zichtbaar worden, terwijl bij een langere voorspeltijd het risico bestaat dat de vlieger te vroeg reageert en vóór het doel uitkomt. Ook neemt de nauwkeurigheid van extrapolatie af met de predictietijd.

1.3 Het experiment

Om na te gaan in hoeverre predictie helpt bij het opsporen van doelvliegtuigen werd een simulatorexperiment uitgevoerd. Een gevechtsvlieger diende een vliegtuig op vaste afstand te volgen, waarna op een onverwacht moment dit vliegtuig uit het zicht verdween en op een willekeurige positie rond het eigen vliegtuig werd geplaatst. De vlieger had de opdracht het doelvliegtuig zo snel mogelijk op te sporen door het eigen vliegtuig weer in het verlengde van het doelvliegtuig te manoeuvreren. Hij had daarbij de beschikking over een radarbeeld met verschillende vormen van baanvoorspelling. De tijd tussen het verdwijnen en het weer opsporen van het doelvliegtuig, en de gevolgde zoekstrategie, werden gebruikt als maat voor de kwaliteit van de taakuitvoering. Om na te gaan of predictie ook invloed heeft op de mentale werklast werd na elke trial gevraagd hoeveel inspanning er was geleverd om het doelvliegtuig te lokaliseren. Voor analyse van zoektijd en zoekstrategie werden de handelingen van de vlieger en de daaruit voortkomende manoeuvres geregistreerd.

Ten behoeve van de navigatie was de cockpit uitgerust met een geïntegreerd tactisch display voor gecombineerde presentatie van verticaal en horizontaal situatie display. Hierop werd tactisch geografische informatie getoond. De toestandsvariabelen waren afleesbaar in een Head-Up Display (HUD), voor dit onderzoek geprojecteerd in het buitenbeeld. Voor het opsporen van doelvliegtuigen waren extra hulpmiddelen aangebracht ter ondersteuning van de vliegtaak: een perspectivisch radarbeeld al dan niet voorzien van predictie. Dit bepaalde de experimentele condities.

De conditie “zonder predictie” betrof het “standaard” exocentrisch radarbeeld met inside-out bewegingsreferentie (zie ook § 1.1). Deze conditie vormt de experimentele controle-conditie en betrof weergave van de relatieve positie van het doelvliegtuig. In de conditie “met predictie” werd dit radarbeeld uitgebreid met informatie over de voorspelde baan van het doelvliegtuig (predictie).

1.4 Verwachte resultaten

Het is bekend dat wanneer *samenhangende* informatie in één display wordt gepresenteerd, de relatie onmiddellijk duidelijk wordt en deze informatie beter en sneller wordt geïnterpreteerd (Kelley, 1968; Goettl, Wickens & Kramer, 1991). Verwacht wordt dan ook dat de vlieger beter anticipiert en reageert wanneer het radarbeeld informatie toont over toekomstige baan

van het doelvliegtuig, met het gevolg een kortere doelzoektijd. In de makkelijke scenario's verandert de relatieve positie van het doelvliegtuig niet veel waardoor predictie minder zal bijdragen. In moeilijke scenario's daarentegen, levert predictie meer informatie, namelijk dat het doelvliegtuig recht op de vlieger afkomt en hem bij handhaving van huidige koers en snelheid op korte termijn passeert. Met deze informatie kan de vlieger in principe sneller handelen.

In het geval predictie plaatsvindt op basis van translatie en pitch is er meer informatie aanwezig dan bij toepassing van predictie op basis van translatie alleen waardoor de zoekijd mogelijk verder wordt verkort.

Wat betreft de subjectief ervaren werklast wordt verwacht dat deze bij predictie zal afnemen, immers informatie over de positieveranderingen van het doelvliegtuig behoeft niet te worden afgeleid uit separaat gepresenteerde gegevens (mentale combinatie), maar is gepresenteerd in één pictoriaal display.

Het aanbieden van predictie-informatie hoeft echter niet automatisch tot betere resultaten te leiden. Het is immers mogelijk dat het aanbieden van extra informatie het aflezen van de relevante gegevens van het display belemmert waardoor de prestaties van de vliegers niet verbeteren en mogelijk zelfs verslechtern. Dit wordt ook wel *display clutter* genoemd (b.v. Stokes e.a., 1990). Display clutter wordt voorkomen door informatie op eenduidige manier te presenteren zonder irrelevante details, waarbij de informatiebehoefte van de gebruiker voorop dient te staan (Korteling e.a., 1995).

2 METHODE

2.1 Proefpersonen

Aan het experiment namen zeven mannelijke en één vrouwelijke proefpersoon deel. De leeftijd van de proefpersonen lag tussen de 23 en 31 jaar. Zeven proefpersonen waren werkzaam als helikoptervlieger, één had als waarnemer/navigator gewerkt. Alle proefpersonen hadden ruime vliegervaring.

2.2 Simulator

Instrumentatie

Het experiment werd uitgevoerd met de TNO-TM vliegsimulator. Deze simulator is samengesteld uit de elementen die hieronder beknopt zijn beschreven. Voor gedetailleerde specificaties wordt verwezen naar Bijlage 1. De elementen zijn de volgende:

- beeldgeneratie- en projectiesysteem;
- mock-up van een geïnstrumenteerde cockpit;
- computersystemen.

Beeldgeneratie- en projectiesysteem

Voor het genereren en presenteren van dynamische buitenbeelden werd een Evans & Sutherland ESIG-2000 grafische processor gebruikt met daaraan gekoppeld een Seos HiView projectiesysteem. Met het ESIG-2000 systeem kunnen meerdere parallelle kleuren video-beelden worden gegenereerd waarvan onder andere detaillering en oplossend vermogen programmeerbaar zijn. Eisen ten aanzien van deze factoren bepalen evenwel de beeldkwaliteit. Maximale beeldkwaliteit wordt verkregen bij beelden die per kanaal zijn opgebouwd uit 1500 tot 2000 beeldvlakken (polygonen) en een oplossend vermogen hebben van 1000×1000 beeldpunten. De beeldvlakken zijn voorzien van textuur en hebben een bijwerkfrequentie van 30 Hz. Hogere bijwerkfrequenties zijn haalbaar (60 Hz), maar dat gaat dan ten koste van de beelddetaillering. Voor het onderhavig experiment is gekozen voor een drie-kanaals configuratie, elk kanaal met een oplossend vermogen van 800×600 beeldpunten, een bijwerkfrequentie van 30 Hz. en een beeldhoek van 156° horizontaal en 42° verticaal.

De beelden werden geprojecteerd met een Seos PRODAS HiView S-600 projectiesysteem. Dit projectiesysteem werd gekenmerkt door een sferisch projectiescherm en een set video-projectoren. Het projectiescherm stond opgesteld rondom een mock-up van de cockpit van een gevechtsvliegtuig. De afstand van de waarnemer in de cockpit tot het projectiescherm bedroeg ongeveer 3 m.

Mock-up van een geïnstrumenteerde cockpit

De mock-up van de cockpit was een op ware grootte nagemaakt model van de cockpit van een gevechtsvliegtuig. Deze cockpit was echter gedeeltelijk geïnstrumenteerd. Alleen de voor de vliegtaak primair noodzakelijke voorzieningen waren aanwezig. De vlieger had de beschikking over een throttle en een force-stick voor besturing van respectievelijk voorwaartse snelheid, roll en pitch. Ten behoeve van de navigatie was de cockpit uitgerust met een geïntegreerd tactisch display. Hierop werd statusinformatie van het eigen vliegtuig getoond en tactische informatie van de directe omgeving. Langs de randen van het scherm werden toestandsindicatoren getoond voor hoogte, voorwaartse snelheid, verticale snelheid, koers en spoilerstand. Indicatoren voor klim- en daalhoek, kijkrichting en resulterende vliegrichting werden middels een HUD in het buitenbeeld geprojecteerd, recht voor de vlieger. Tactische informatie bestond uit een drie-dimensionale synthetische afbeelding van de buitenwereld: een rasterstructuur voor landschappen en een kruis-symbool voor het doelvliegtuig (zie Fig. 2). Verdween het doelvliegtuig verder dan 10 graden uit de vliegrichting, dan verdween ook het kruis-symbool van het scherm. Links onderin het beeld bevond zich het situatie display, een perspectivisch radarbeeld aangevuld met predictie-informatie over het gedrag van het doelvliegtuig ter ondersteuning van de zoektaak. Hiervan werden twee configuraties experimenteel getoetst (zie § 2.3).

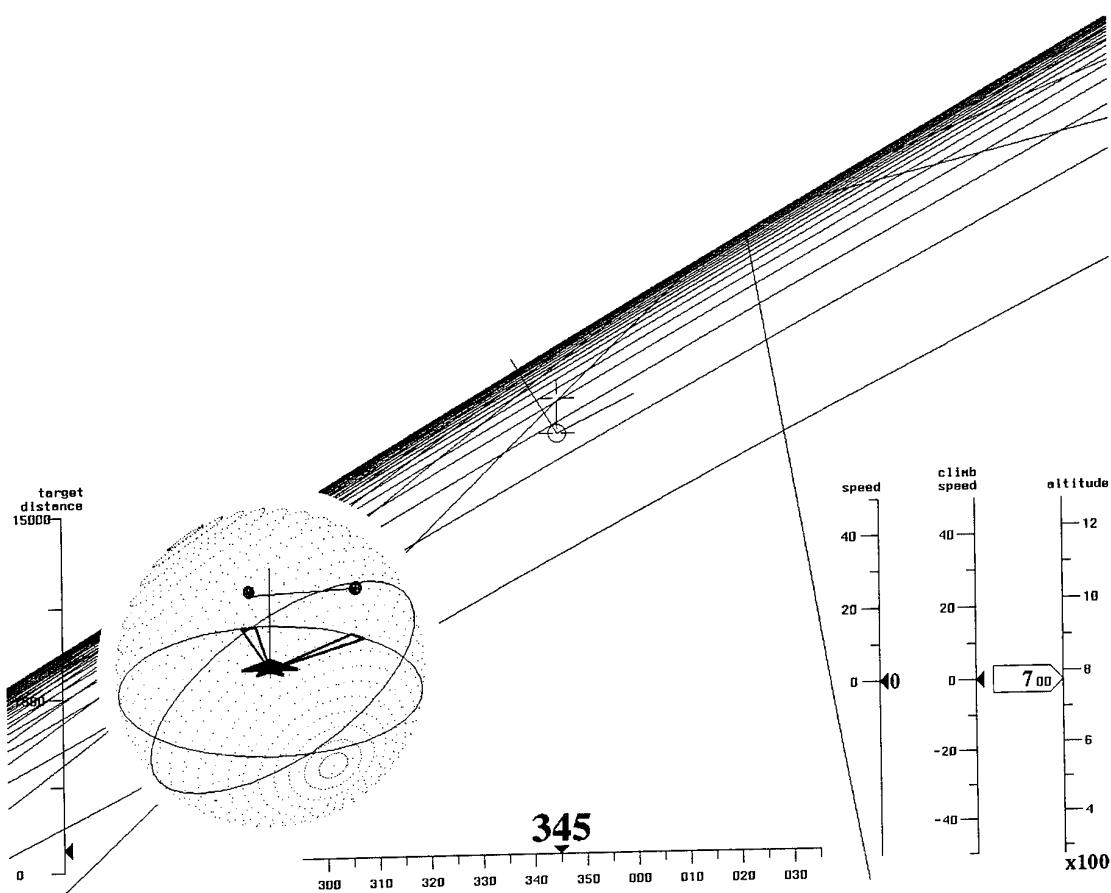


Fig. 2 Overzicht van het tactisch display. Links onderin werd het situatie display getoond. In deze figuur is dat een perspectivisch radarbeeld.

Computersystemen

In de simulator werden meerdere computersystemen gebruikt. Voor het realiseren van hoge reken snelheden had ieder systeem een specifieke taak:

- een modelcomputer (486DX2-66) voor het berekenen van het vlieggedrag van het eigen gevechtsvliegtuig en van andere vliegtuigen (rekenfrequentie 60 Hz);
- een supervisorcomputer (486DX2-66) voor scenario-generatie en voor ruwe gegevensverwerking en gegevensopslag van de door de proefpersoon uitgevoerde handelingen en manoeuvres;
- een grafische computer (SGI IRIS-4D 85GT) voor het genereren en presenteren van een tactisch display.

Vliegmodel

Het wiskundig model van het vlieggedrag was gebaseerd op een zes-graden-van-vrijheid model van een F-16 gevechtsvliegtuig (Schuring, 1983a). Dit model is afgeleid van een uitgebreid F-16 aerodynamisch model door linearisatie (Schuring, 1983b) en is gevalideerd aan de hand van werkelijke vluchtgegevens (Van der Geest, 1985). Het model is vooral

gedimensioneerd voor het vliegen bij hogere snelheden ($>$ mach 1) en is toepasbaar voor rotaties van 360° om elke as.

2.3 Taak

De proefpersonen werd opgedragen eerst een doelvliegtuig te volgen op een afstand van ongeveer 1500 ft. In het buitenbeeld waren veranderingen in volgafstand en verandering van koers van het doelvliegtuig goed te zien. Op een voor de vlieger onverwacht moment verdween het doelvliegtuig uit beeld en werd op 10.000 ft afstand van het eigen vliegtuig geplaatst. De proefpersoon moest het doelvliegtuig zo snel mogelijk opsporen door de richtingsvector van het eigen vliegtuig op het kruisje-symbool van het doelvliegtuig te plaatsen. Hierbij was de afstand tot het doelvliegtuig niet van belang. Het moment van verdwijnen van het doelvliegtuig werd eveneens gekenmerkt door verandering van de achtergrondkleur van het tactisch display. De nieuwe positie van het doelvliegtuig kon niet worden afgeleid uit vooraf waargenomen roll of pitch. De proefpersoon werd vrijgelaten in de te volgen zoekstrategie. De trial werd beëindigd nadat het eigen vliegtuig ten minste 2 s op het doelvliegtuig gericht bleef, met een afwijking ten opzichte van de vliegerichting van maximaal 10° . Was de proefpersoon niet in staat het doelvliegtuig blijvend te volgen, dan werd de trial na 90 s automatisch beëindigd. De simulator was zo ingesteld dat er kon worden doorgevlogen wanneer de grond werd geraakt. Dit werd echter wel geregistreerd. Na afloop van elke trial verscheen een inspanningslijst (zie Bijlage 2) op het beeldscherm waarop de proefpersoon moest aangeven hoe inspannend het was om het doelvliegtuig in de laatste trial op te sporen. Dit was de zogenaamde BSMI-beoordelingsschaal (Zijlstra, 1993). Deze schaal is in eerder onderzoek geschikt gebleken als maat voor mentale werkbelasting (Veltman & Gaillard, 1993).

2.4 Condities

De proefpersonen hadden de beschikking over een beeldscherm met daarop gepresenteerd een tactisch display en een situatie (radar)display. Op het tactisch display werden geografische gegevens (kaart, dreigingsgebieden) gepresenteerd, op het situatiedisplay de radargegevens. Dit laatste display is vooral belangrijk als hulpmiddel bij het bepalen van de posities van doelvliegtuigen, en was uitgevoerd als genormeerd perspectivisch sferisch display (zie § 1.1 voor details). Van deze bol-vormige afbeelding was de ene helft blauw gekleurd en stelde het deel boven de horizon voor; de andere helft was bruin gekleurd en stelde het deel onder de horizon voor. Het eigen vliegtuig in het centrum van de bol was groen gekleurd, het doelvliegtuig was wit. Het eigen referentievak (de doorsnijding van eigen vliegtuigvlak en bol) bestond uit een groene ring. De volgende condities werden experimenteel onderzocht:

- A geen predictie: De positie van het doelvliegtuig werd weergegeven in een perspectivisch exocentrisch radarbeeld; er was geen voorspelling van de baan van het doelvliegtuig;

- **B** predictie-1: De positie van het doelvliegtuig werd weergegeven in een perspectivisch exocentrisch radarbeeld; er was voorspelling van de baan van het doelvliegtuig op basis van translatie;
- **C** predictie-2: De positie van het doelvliegtuig werd weergegeven in een perspectivisch exocentrisch beeld; er was voorspelling van de baan van het doelvliegtuig op basis van translatie en pitch.

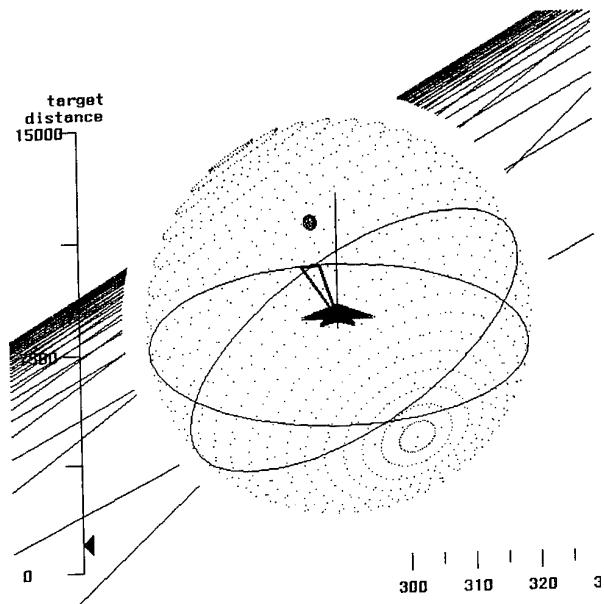


Fig 3a **A:** Geen predictie. De positie van het doelvliegtuig werd weergegeven in een perspectivisch exocentrisch radarbeeld; er was geen voorspelling van de baan van het doelvliegtuig.

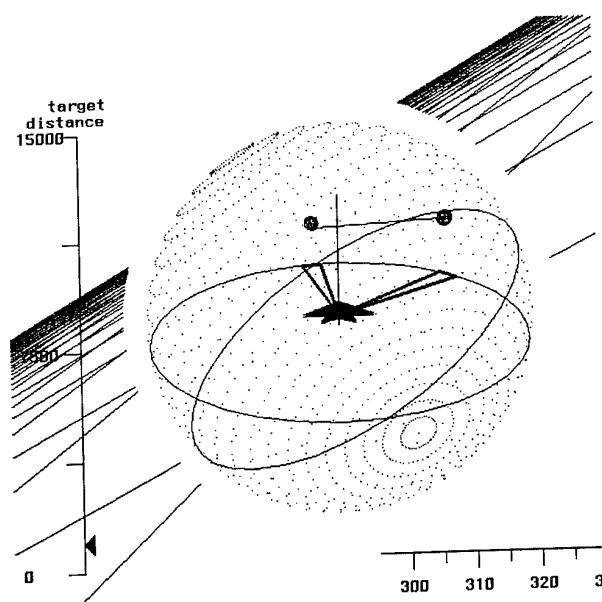


Fig 3b **B:** Predictie-1. De positie van het doelvliegtuig werd weergegeven in een perspectivisch exocentrisch radarbeeld; de getrokken lijn is de voorspelling van de baan van het doelvliegtuig op basis van translatie.

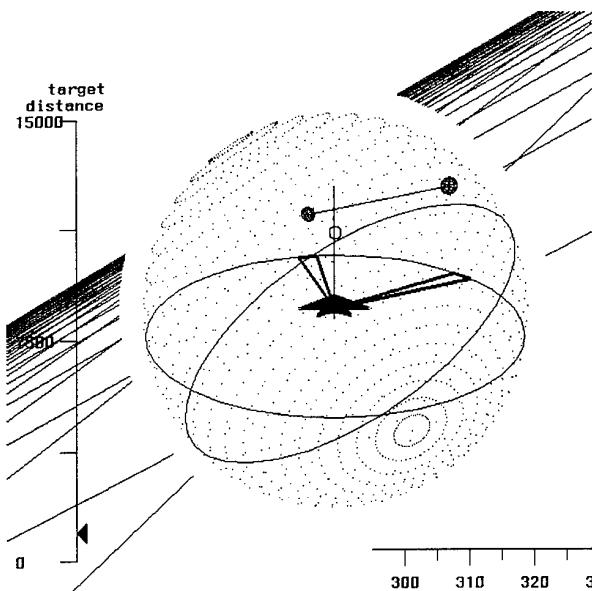


Fig 3c C: Predictie-2. De positie van het doelvliegtuig werd weergegeven in een perspectivisch exocentrisch beeld; de getrokken lijn is voorspelling van de baan van het doelvliegtuig op basis van translatie, het rondje voegt daaraan toe extrapolatie op basis van pitch.

In conditie A (Fig. 3a: geen predictie) was geen sprake van voorspelling van de baan van het doelvliegtuig. Dit vormde de controle conditie (zie ook § 1.1). De positie van het doelvliegtuig werd als wit bolletje weergegeven in een perspectivisch exocentrisch radarbeeld; er was geen voorspelling van toekomstige positie van het doelvliegtuig.

In conditie B (Fig 3b: predictie-1) werd de voorspelde baan van het doelvliegtuig bepaald door extrapolatie van alleen translatie en werd weergegeven als relatieve baan op de omtrek van het perspectivische radarbeeld. Deze voorspelde baan was evenwel alleen zichtbaar wanneer de voorspelling relevant was: verplaatsing van een ver verwijderd doelvliegtuig veroorzaakt nauwelijks verandering van de relatieve hoek van waarneming; was het doelvliegtuig in de nabijheid dan kunnen aanzienlijke veranderingen van de relatieve hoek van waarneming optreden. Gekozen werd voor het presenteren van de voorspelde positie van het doelvliegtuig als geel bolletje, wanneer binnen tien seconden een relatieve positieverandering van meer dan 60° werd berekend. Een geel bolletje gaf dan de toekomstige positie van het doelvliegtuig aan, uitgaande van een constante koers van beide vliegtuigen. Wit en geel bolletje werden door middel van een lijn verbonden om het traject van het doelvliegtuig in de tussenliggende tijd te benadrukken. In het tactisch display waren huidige en de voorspelde relatieve positie van het doelvliegtuig aangegeven door een witte, respectievelijk gele richtingsindicator.

In conditie C (Fig. 3c: predictie-2) werd de voorspelde baan van het doelvliegtuig bepaald door extrapolatie van de translatie pitch. De voorspelde richting van het eigen vliegtuig werd als cirkeltje aangegeven en met een lijn verbonden met het vizier (de huidige vliegrichting). Doordat deze tijdens een manöuvre sterk varieerde, fluctueerde ook de predictie aanzien-

lijk. Vandaar dat deze laatstgenoemde predictie continu werd getoond. Bijvoorbeeld: Wanneer de vlieger op tijdstip t de stick vol naar zich toe trekt zal hij op tijdstip $t + 10$ s een halve draai gemaakt hebben. De predictie voorspelt dit al op tijdstip t .

2.5 Scenario's

In het begin van ieder scenario moest door de proefpersoon een doelvliegtuig worden gevuld op een afstand van ongeveer 1500 ft, bij een snelheid van 500 knopen, en op een hoogte van 15.000 ft. Het doelvliegtuig vloog rechtdoor of zette vrijwel onmiddellijk een bocht naar links of naar rechts in ($5^\circ \cdot s^{-1}$). Op van tevoren vastgestelde tijdstippen verdween het doelvliegtuig en werd op een nieuwe positie geplaatst: na 8, 12 of 16 s. Aan de proefpersonen werd dat niet meegedeeld. Vanaf de nieuwe positie vervolgde het doelvliegtuig zijn baan, radiaal naar buiten of naar binnen gericht (lineaire snelheid van 500 kts). In het eerste geval is er sprake van een relatief makkelijke manoeuvre, immers het doelvliegtuig werd in alle gevallen vanaf de achterzijde genaderd, in het tweede geval is er sprake van een veel moeilijker uitvoerbare manoeuvre omdat het doelvliegtuig steeds dichterbij kwam en zelfs na enkele seconden het pad zou kruisen. De vliegrichting van het doelvliegtuig bleef in alle gevallen gelijk, tenzij het aardoppervlak werd geraakt. In dat geval werd de verticale snelheidscomponent gelijk nul. De posities waarop het doelvliegtuig werd geplaatst zijn weergegeven in Bijlage 3. De hoeken in deze Bijlage zijn aardvast. Elke proefpersoon kreeg 18 initiële posities van het doelvliegtuig aangeboden. De ene helft van de proefpersonen kreeg de posities volgens de open rondjes van de Tabel, de andere helft volgens de gesloten rondjes. In een scenario werd deze set tweemaal aangeboden (eenmaal met makkelijke, en eenmaal met moeilijke scenario's). De startrichting (linkerbocht, rechterbocht of rechtdoor) en het moment van verdwijnen (na 8, 12, of 16 s) van het doelvliegtuig werden zodanig over de posities verdeeld dat deze per positie steeds gelijk waren voor de moeilijke en makkelijke trial. Deze verdeling was gelijkwaardig. De volgorde van aanbieding en het moment van verdwijnen waren per conditie verschillend. Tenslotte kregen de proefpersonen voor ieder display type op een willekeurig moment van de dag twee zogenoemde interactieve scenario's, waarin het doelvliegtuig complexe manoeuvres uitvoerde en daarbij voortdurend het eigen vliegtuig aanvloog, ook na passeren. De proefpersoon werd van dit afwijkend scenario niet op de hoogte gebracht. De maximale tijdsduur van deze scenario's was 10 s langer dan de overige.

2.6 Procedure

Per dag namen steeds twee proefpersonen deel aan het experiment. De ochtend werd besteed aan het trainen van de scenario's met de drie display configuraties. De proefpersonen oefenden beurtelings in de simulator. Eerst werd zonder opdracht gevlogen om aan de simulator te wennen, vervolgens werden met ieder display type geoefend. Om mogelijke leereffecten gedurende het experiment te voorkomen kregen vier proefpersonen de condities in de volgorde **A, B, C** aangeboden, voor de andere vier proefpersonen was dat de volgorde **C, B, A**. Tenslotte waren er twee herhalingssessies van elk 20 scenario's met ieder display type (zie Bijlage 4 voor een gedetailleerd overzicht). De volgorde waarin tijdens deze

herhalingssessie de verschillende displays werden getoond was gelijk aan de volgorde waarin bij die proefpersoon de daarop volgende experimentele scenario's werden aangeboden. 's Middags werden de experimentele scenario's uitgevoerd. Hierbij werden de condities in blokken van 38 experimentele trials aangeboden (ca. 35 minuten per blok). Ook daarbij wisselden de proefpersonen elkaar af. Met acht proefpersonen is het niet mogelijk om de drie condities volledig te balanceren. Om de resultaten zo weinig mogelijk te laten beïnvloeden door volgorde-effecten werd gekozen voor random volgorde van de trials.

2.7 Afhankelijke variabelen en analyse

Tijdens iedere trial werden tijd, positie, roll, pitch, heading en snelheid van eigen vliegtuig en doelvliegtuig bemonsterd en geregistreerd met een intervaltijd van 0,25 s. Aan de hand van deze gegevens werden *zoektijd* en *volgfout* bepaald. Daaraan werd de *BSMI-inspannings-score* toegevoegd. De zoektijd is gedefinieerd als de tijd die verstrijkt tussen het moment van verdwijnen van het doelvliegtuig en het moment waarop het doelvliegtuig weer was opgespoord en vervolgens minimaal 2 s binnen 10° van de eigen vliegrichting werd gehouden. De volgfout, een maat voor de gevuldte zoekstrategie, is gedefinieerd als de RMS (Root Mean Square) afwijking tussen 'ideale' en actuele rolhoek. De 'ideale' rolhoek is ingesteld wanneer het doelvliegtuig zich in het vlak door lichaams-as van de vlieger en lengte-as van het vliegtuig bevindt. De volgfout is dan nul. Het doelvliegtuig kan dan worden opgespoord door "positief G" te trekken, terwijl aanpassing van de rolhoek dan in principe niet meer nodig is. De volgfout wordt uitgedrukt in graden.

De resultaten zijn getoetst met een 3 (display type) × 2 (moeilijkheid) × 2 (positie) multivariate variantie-analyse (MANOVA) waarbij de zoektijden, volgfout en BSMI-scores samen werden getoetst met als factoren *display type* (geen, predictie-1 en predictie-2) en *makkelijk/moeilijk*. Van deze factoren werd voor de drie maten afzonderlijk de significantie getoetst middels een univariate variantie-analyse (ANOVA). Met een regressie-analyse werd nagegaan of er tijdens het experiment sprake was van leereffecten.

Tenslotte werd nagegaan in hoeverre de proefpersonen ontoelaatbaar laag hadden gevlogen. Dit betekent een vlieghoogte lager dan 150 ft.

Om na te gaan of de proefpersonen wel voldoende getraind waren voordat ze aan de experimentele scenario's begonnen, werden de resultaten van het huidige experiment vergeleken met die van het vorige experiment (Van Breda & Veltman, 1995), waarbij de vliegers langduriger werden getraind. Ook werd nagegaan of er tijdens het huidige experiment nog leereffecten optradten.

3 RESULTATEN

De zoektijd, volgfout en BSMI-score voor ieder display type zijn weergegeven in Fig. 4, opgesplitst naar moeilijkheid van de scenario's. De gezamenlijke MANOVA van de zoektijd,

volgfout en BSMI-score leverde geen significant effect op voor display type (Wilks' $\lambda=0,13$; $p=0,35$). Het verschil tussen makkelijke en moeilijke scenario's was wel significant (Wilks' $\lambda=0,012$; $p<0,001$). De ANOVA's op de drie afzonderlijke maten lieten zien dat de zoektijden en BSMI-scores bij moeilijke scenario's significant hoger waren dan bij makkelijke scenario's [respectievelijk $F(1,7)=442$; $p<0,001$ en $F(1,7)=30$; $p<0,001$]. Er werd geen verschil geconstateerd in volgfout tussen de makkelijke en moeilijke scenario's.

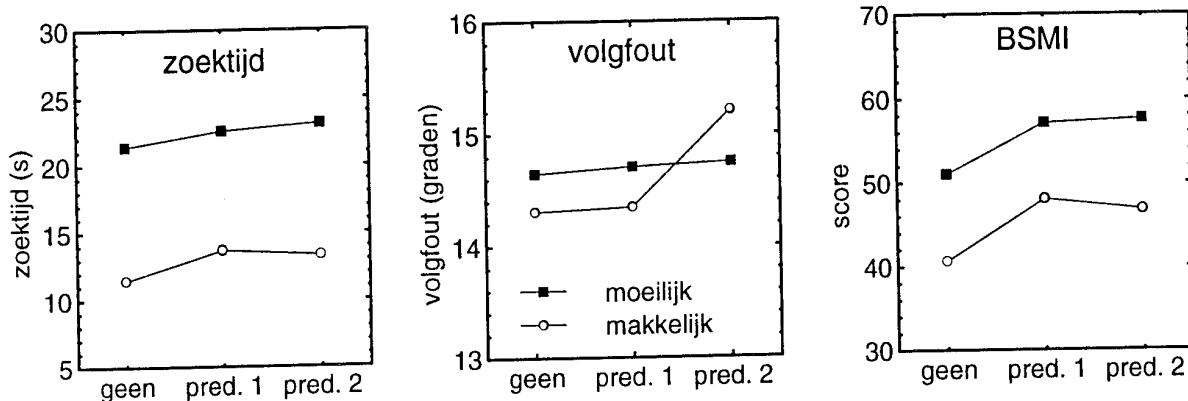


Fig. 4 Zoektijd, volgfout en BSMI score per type radar display, gesplitst naar makkelijke en moeilijke trials.

Predictie leverde geen kortere zoektijden op, zelfs niet voor de moeilijke scenario's. Integendeel, predictie lijkt de prestatie eerder te verslechteren dan te verbeteren. Dit bleek ook het geval met de BSMI-scores. Om een beter beeld te krijgen over de prestatie van de individuele proefpersoon zijn in Tabel I de frequentieverdelingen van zoektijd en BSMI-score weergegeven. In deze Tabel is het aantal proefpersonen weergegeven dat het snelst, gemiddeld of langzaamst scoorde per display type. Te zien is dat bij de makkelijke scenario's 6 van de 8 proefpersonen het snelst waren bij een display type zonder predictie. Bij de moeilijke scenario's zijn 4 proefpersonen het snelst zonder predictie. Voor zowel de makkelijke als moeilijke scenario's geven 5 proefpersonen aan zonder predictie de minste inspanning te hebben geleverd.

Bij de interactieve scenario's bleek het in een aantal gevallen niet mogelijk het doelvliegtuig in het vizier te krijgen. Van de 16 interactieve scenario's die met ieder display type waren gevlogen (2 per proefpersoon) waren er bij het display type zonder predictie geen missers, bij predictie-1 vier en bij predictie-2 één. Analyse van de zoektijden waarbij het doelvliegtuig voor het eerst binnen 10° verscheen resulteerde in gemiddelde waarden van respectievelijk 18,1 26,1 en 19,9 s. Deze waarden verschilden niet significant.

Het aantal keren dat er met het eigen vliegtuig tegen de grond werd gevlogen was voor de drie display types respectievelijk 7, 13 en 13. In totaal werd bij 100 trials tijdens het zoeken naar beneden gevlogen, zodat deze genoemde aantallen ook als percentages opgevat kunnen worden. Deze percentages bleken niet significant te verschillen.

Tabel I Verdeling van zoektijden en BSMI scores naar aantal proefpersonen met korte, gemiddelde en lange zoektijden, en lage, gemiddelde en hoge BSMI-scores, opgesplitst naar display type en moeilijkheidsgraad van de manoeuvre. Bijvoorbeeld, de eerste 6 betekent hier dat 6 van de 8 proefpersonen korte zoektijden hadden zonder predictie bij de makkelijke scenario's. De 0 eronder betekent dat geen van de proefpersonen korte zoektijden had met predictie-1 bij de makkelijk scenario's.

| conditie | | zoektijden | | | BSMI | | |
|-----------|-------------|------------|-----------|------|------|-----------|------|
| | | kort | gemiddeld | lang | laag | gemiddeld | hoog |
| makkelijk | geen | 6 | 2 | 0 | 5 | 2 | 1 |
| | predictie-1 | 0 | 4 | 4 | 2 | 2 | 4 |
| | predictie-2 | 2 | 2 | 4 | 1 | 4 | 3 |
| moeilijk | geen | 4 | 1 | 3 | 5 | 1 | 2 |
| | predictie-1 | 2 | 4 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| | predictie-2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 4 | 3 |

De gemiddelde zoektijden bij het huidige en vorige experiment in de conditie zonder feedback zijn in Tabel II weergegeven. Een ANOVA geeft aan dat er geen significant verschil was [$F(1,17)=3,1; p=0,09$].

Tabel II Zoektijden bij het huidige en vorige experiment (in condities zonder predictie), voor de makkelijke en moeilijke scenario's.

| | zoektijden (s) | |
|-----------|-----------------------------|----------------------------|
| | huidige experiment (n=8) | vorig experiment (n=11) |
| makkelijk | 128 | 143 |
| moeilijk | 223 | 247 |

n = aantal proefpersonen

Om na te gaan of er tijdens het experiment nog verbetering in de zoekprestatie optrad zijn de volgnummers van de trials ($3 \times 38 = 114$) gecorrelleerd met de respectievelijke zoektijden. Het resultaat hiervan is weergegeven in Fig. 5. De regressielijn heeft een hellingshoek van $-0,01$, wat inhoudt dat de proefpersonen na 100 trials in het experiment gemiddeld 1 seconde sneller waren dan bij aanvang (ca. 5% verbetering). Het aantal extreme waarden (hoog en laag) aan het begin en eind van het experiment is vergelijkbaar, zodat de hellingshoek van de regressielijn hier niet door werd beïnvloed.

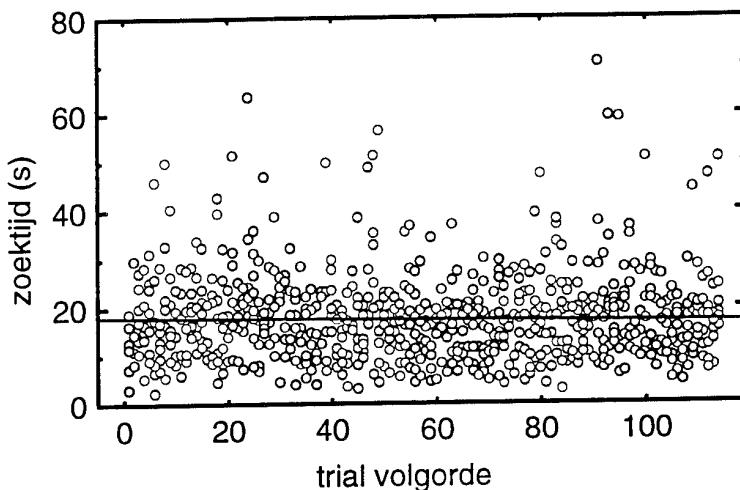


Fig. 5 Scatterplot met regressielijn van zoektijden met volgorde van de trials.

4 DISCUSSIE

Uit de resultaten blijkt dat wanneer bij doelacquisitie een perspectivisch radarbeeld wordt gebruikt, en daaraan predictie-informatie over het doelvliegtuig wordt toegevoegd, dit geen reductie van de doelzoektijd oplevert. De resultaten suggereren zelfs een kleine toename van de zoektijden, maar statistische toetsing wijst uit dat dit niet significant was. Analyse van de volgfout, een maat voor de gevolgde zoekstrategie, en de BSMI-inspanningsscore leverde overeenstemmende resultaten op. De volgfout nam niet af en het werd niet als minder inspannend ervaren wanneer er predictie-informatie in het perspectivisch radarbeeld werd gepresenteerd. Tenslotte blijkt dat het effect van scenario moeilijkheid op de gemiddelde zoektijd voor ieder display type gelijk was. In gemakkelijke scenario's werd het doelvliegtuig steeds gemiddeld ongeveer 10 s sneller opgespoord dan in moeilijke scenario's. Het gebruik van predictie-informatie bracht daarin geen verandering.

Het feit dat geen sprake was van leereffecten betekent dat er voorafgaand aan de experimentele scenario's door de proefpersonen genoeg is geoefend. De prestaties van de proefpersonen veranderden niet meer tijdens het experiment. Ook uit vergelijking met de resultaten van het vorige experiment en het verloop van de zoektijden tijdens het huidige experiment kon niet worden afgeleid dat de proefpersonen onvoldoende waren getraind. Voor de hoge werklast scenario's tenslotte waren de resultaten te divers om tot geldige uitspraken te kunnen leiden.

De zoekprestatie naar doelvliegtuigen verbetert niet bij toevoeging van extra predictie-informatie aan het perspectivisch radarbeeld. Blijkbaar kan de vlieger met een perspectivisch display dermate goed anticiperen, dat extra anticipatie-informatie geen bijdrage meer levert aan de taakprestatie. Het feit dat er zelfs een trend bestaat tot afname van de volgprestatie kan worden verklaard aan de hand van het principe dat extra informatie de complexiteit van het display vergroot. Hierdoor gaat de interpretatie meer tijd kosten waardoor deze extra informatie contra-produktief kan zijn. Er is dan sprake van *display clutter*. Voor efficiënter

gebruik van predictie-informatie zou gezocht moeten worden naar een presentatiewijze die eenvoudiger is te interpreteren. Het is evenwel de vraag of dit mogelijk is.

Bij het onderhavige experiment had de vlieger steeds de beschikking over een perspectivisch egocentrisch tactisch display waarmee nauwkeurig op het doelvliegtuig kon worden gericht. Het doelvliegtuig werd hierop echter pas zichtbaar als deze binnen 10° van de eigen vliegrichting vloog. De conclusies ten aanzien van het gebruik van predictie-informatie gelden dan ook in combinatie met dit tactisch display en niet voor de afzonderlijke display types.

5 CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

Bij het opsporen van een doelvliegtuig werd geen verbetering van de egocentrische oriëntatie van de vlieger geconstateerd wanneer aan een perspectivisch exocentrisch radarbeeld met inside-out bewegingsreferentie informatie over de voorspelde baan van het doelvliegtuig (predictie) werd toegevoegd. In tegenstelling tot de verwachting werd het verschil in zoektijd tussen makkelijke en moeilijke scenario's niet door predictie gereduceerd. Bij nadere beschouwing van de gegevens werd zelfs een trend zichtbaar die suggereerde dat het toepassen van predictie tot slechtere prestaties zou leiden. De proefpersonen gaven aan moeite te hebben met de interpretatie van het radarbeeld. Dit zou erop wijzen dat er sprake was van display clutter. Omdat er tijdens het experiment geen leereffect werd geconstateerd valt niet te verwachten dat betere resultaten verkregen worden door extra oefening.

De kracht van het gehanteerde perspectivische inside-out radarbeeld ligt in zijn eenvoud. Door het koppelen van een inside-out bewegingsreferentie aan een exocentrisch display krijgt de interpretatie van het display iets heel natuurlijks. Het wijst er dan ook op dat de zoektijden met dit display type hierdoor zo kort zijn dat een meer dan marginale verbetering nauwelijks te realiseren is.

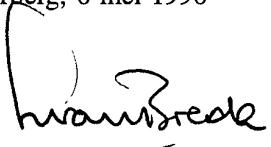
Mede op basis van resultaten uit het vorige experiment wordt gesuggereerd dat het gebruik van een perspectivisch inside-out display, ondanks de optimale tracking prestaties, tot gevolg heeft dat de vlieger te vaak ontoelaatbaar laag vliegt. In een volgende fase van het project wordt met betrekking tot dit verschijnsel de situational awareness van de vlieger, in het bijzonder de egocentrische oriëntatie, nader onderzocht.

REFERENTIES

- Aretz, A.J. & Wickens, C.D. (1992). The mental rotation of map displays. *Human Performance*, 5, 303-328.
- Barfield, W. & Young, K. (1991). Effect of geometric parameters of perspective on judgements of spatial information. *Perceptual and Motor Skills*, 73(2), 619-623.
- Breda, L. van, Passenier, P.O. & Schuffel, H. (1990). Ship control with electronic chart and path prediction. *Proceedings Joint International Conference on Maritime Simulation and Ship Controllability*, Tokyo, Japan: pp. 203-208.
- Breda, L. van & Veltman, J.A. (1995). *Perspectivische informatie in de cockpit als hulp bij het opsporen van doelvliegtuigen* (Rapport TNO-TM 1995 A-37). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Geest, P.J. van der (1985). *Validation of the F-16 computer simulation program with aid of actual flight test results* (Memorandum VS-85-025 C). Amsterdam: Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium.
- Goettl, B.P., Wickens, C.D. & Kramer, A.F. (1991). Integrated displays in the perception of graphical data. *Ergonomics*, 34(8), 1047-1063.
- Hollister, W.M. (1986). *Improved guidance and control automation at the man-machine interface* (AGARD-AR-228). Neuilly-sur-Seine: NATO.
- Kelley, C.R. (1968). *Manual and automatic control—A theory of manual control and its applications to manual and automatic control*. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Korteling, J.E. & Gent, R.N.H.W. van (1994). *Anticipatie en actieve stuurmiddelen bij helicoperbesturing* (Rapport TNO-TM 1994 A-2). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Korteling, J.E., Gent, R.N.H.W. van & Borg, W. van der (1995). *Visuele informatiepresentatie in gevechtsvliegtuigen* (Rapport TNO-TM 1995 A-15). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Passenier, P.O. (1989). *An adaptive track predictor for ships*. Ph.D. Thesis, Delft: University of Technology.
- Passenier, P.O. (1996). *Tactische situatie schermen: Ontwikkelingen in de cockpit* (in voorbereiding). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Prevett, T.T. & Wickens, C.D. (1994). *Perspective displays and frame of reference: their interdependence to realize performance advantages over planar displays in a terminal area navigation task* (Technical Report ARL-94-8/NASA-94-3). Moffett Field, CA: NASA Ames Research Center.
- Schuring, J. (1983a). *Computer simulation of aircraft dynamics applied for the F-16. Part II: Description of program package ACT, Edition 1983* (NLR report TR 80027 C). Amsterdam: Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium.
- Schuring, J. (1983b). *Introduction to the control and display software for the NLRGC human centrifuge* (Memorandum VS-83-014 L). Amsterdam: Nationaal Lucht- en Ruimtevaartlaboratorium.
- Schwartz, N. & Adams, E. (1987). Panoramic cockpit control and display system (PCCADS). *Proceedings AGARD-CP-425 (Supp.): The Man-Machine Interface in Tactical Aircraft Design and Combat Automation*. Stuttgart, Germany: NATO.
- Stokes, A., Wickens, C.D. & Kite, K. (1990). *Display technology: Human Factors concept*. Warrendale, VA: Society of Automotive Engineers.

- Veltman, J.A. & Gaillard, A.W.K. (1993). *Evaluation of subjective and physiological measurement techniques for pilot workload* (Report IZF¹ 1993 A-5). Soesterberg, The Netherlands: TNO Institute for Perception.
- Veltman, J.A., Breda, L. van, Bronkhorst, A.W. (1994). *Informatievoorziening in de cockpit: hulp bij het opsporen van andere vliegtuigen met behulp van 3-D audio* (Rapport TNO-TM 1994 A-32). Soesterberg: TNO Technische Menskunde.
- Zijlstra, F.R.H. (1993). *Efficiency in Work Behaviour: A design approach for modern tools*. Ph.D. Thesis, Delft: University of Technology.

Soesterberg, 6 mei 1996



Ing. L. van Breda
(1^e auteur, projectleider)

¹ On 1 January 1994 the name "TNO Institute for Perception" has been changed into "TNO Human Factors Research Institute".

BIJLAGE 1 Technische specificaties van de TNO-TM vliegsimulator
BEELDGENERATIESYSTEEM

| | |
|--|---|
| Fabrikaat: | Evans & Sutherland, type ESIG-2000 |
| Principe: | computer gegenereerde beelden |
| Aantal kanalen: | maximaal 4 |
| Resolutie: | 1,0 M beeldelementen per kanaal bij 30 Hz (3 kanalen) 0,5 M beeldelementen per kanaal bij 60 Hz (3 kanalen) |
| Beeldhoek: | programmeerbaar |
| Aantal polygonen: | 1500 à 2000 polygonen/kanaal bij 30 Hz afhankelijk van de configuratie, 1000 polygonen/kanaal bij 60 Hz |
| Kleur: | 1024 basiskleuren exclusief texture en shading effecten |
| Hidden surface removal: | op basis van Binary Separation Planes (BSP) |
| Shading: | smooth, flat, Gouraud shading |
| Anti-aliasing: | ja, niet door transparante polygonen |
| Bewegende objecten: | maximaal 252 onafhankelijke objecten |
| Lag time: | 2½ update cycle + 1 refresh cycle. Bij 30 Hz update en 60 Hz refresh is dat 100 ms, bij 60 Hz update is dat 58 ms |
| Texturing: | maximaal 256 (128 × 128) texture maps (4,2 Mtexel); oor near/far effecten kunnen maximaal 4 maps per polygoon worden aangebracht. Dynamische texturing mogelijk |
| Atmosferische omstandigheden: | dag, nacht, schemer, onweer |
| Level of detail: | automatisch, overload management |
| Puntlichtbron: | ja |
| Line of sight ranging/ laser ranging: | ja |
| Collision detection: | ja |
| Terrein interactie: | ja, maximaal 40 punten |
| Flir: | ja |
| Animatie: | ja |
| Graphics overlay: | wordt in het beeld gemengd door middel van video-keying |
| Video-output: | volledig programmeerbaar |
| Modelleren: | EaSIEST modelleer software op ESV/3 werkstation. |

BEELDPROJECTIESYSTEEM

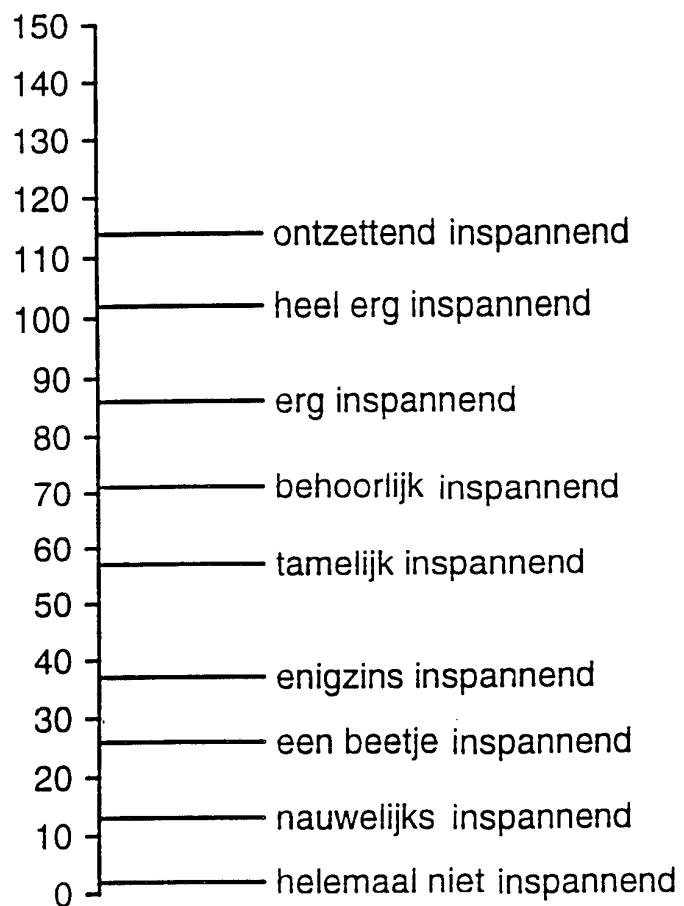
| | |
|------------------|---|
| Fabrikaat: | Seos Displays, type PRODAS S-600 HiView |
| Principe: | toont video kleurenbeelden op een sferisch projectiescherm |
| Projectoren: | BARCO, type Graphics 800 |
| Beeldhoeken: | vrij configurerbaar tot maximaal $250^\circ \times 40^\circ$ of $150^\circ \times 90^\circ$ |
| Beeldluminantie: | 10 cd/m ² in het centrum van het scherm |
| Contrast-ratio: | 15:1 |
| Resolutie: | 6 bgmin per optisch lijnpaar; 3 bgmin per beeldelement |

Geometrie: beter dan 2% van de beeldhoogte
Convergentie: beter dan 0,2% van de beeldhoogte
Beeldovergang: geometrie beter dan 0,5% van de beeldhoogte; luminatiefout kleiner dan 15%
Video input: standaard video RGB-S
lijnfrequentie tot 72 kHz;
rasterfrequentie tot 100 Hz.

GEÏNTEGREERD TACTISCH INFORMATIE DISPLAY

Fabrikaat: Silicon Graphics, type IRIS 4D;
Principe: grafische processor, kleur;
Resolutie: 1280×1024 beeldpunten bij 15 Hz;
Beeldhoek: 60°×45°;
Kleur: max 1024 kleuren;
Video output: standaard video RGB-S
lijnfrequentie tot 72 kHz.

BIJLAGE 2 BeoordelingsSchaal Mentale Inspanning (BSMI)
(Zijlstra, 1993)



BIJLAGE 3 Scenario's

36 Posities waarop het doelvliegtuig werd geplaatst. De proefpersonen kregen hieruit 18 posities aangeboden (de open c.q. gesloten rondjes). 0° Horizontaal betekent recht naar voren, negatieve hoeken horizontaal wijzen naar links en negatieve hoeken verticaal naar beneden. De initiële verplaatsingsafstand bedroeg 10.000 ft.

| verticaal (graden) | horizontaal (graden) | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|----------------------|------|------|-----|-----|-----|-----|---|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| | -150 | -135 | -120 | -90 | -60 | -45 | -30 | 0 | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 | 135 | 150 | 180 |
| 90 | | | | | | | | ● | | | | | | | | |
| 60 | | | | ○ | | | | ● | | | | ○ | | | | ● |
| 30 | | ○ | | ● | | ○ | | ● | | ○ | | ● | | ○ | | ● |
| 0 | ○ | | ● | ○ | ● | | ○ | | ● | | ○ | ● | ○ | | ● | ○ |
| -30 | | ● | | ○ | | ● | | ○ | | ● | | ○ | | ● | | ○ |
| -60 | | | | ● | | | | ○ | | | | ● | | | | ○ |

BIJLAGE 4 Opzet van het experiment

In blok 1 t/m 8 mochten de proefpersonen vrij vliegen om te wennen aan de simulator en kennis te maken met de verschillende display types. Proefpersonen kregen uitleg en gelegenheid tot het stellen van vragen. In blok 7 en 8 werd voor beide vormen van predictie één keer een set van tien oefenscenario's aangeboden. Deze scenario's kwamen niet in het experiment voor maar waren wel vergelijkbaar met de experimentele scenario's wat betreft duur en moeilijkheid. Aan de hand van deze oefening werd de taak nogmaals uitgelegd.

In de middag werden de drie experimentele blokken afgewerkt. Voorafgaand aan elke conditie kregen de proefpersonen steeds drie oefenscenario's (voor elke conditie dezelfde drie), gevolgd door de experimentele scenario's. Tijdens de experimentele blokken wisselden de proefpersonen elkaar af.

Oefensessie:

| blok | proefpersoon A | proefpersoon B | conditie (displaytype) |
|------|--------------------|--------------------|---|
| 1 | 15 minuten vliegen | (meekijken/rust) | zonder predictie |
| 2 | (meekijken/rust) | 15 minuten vliegen | zonder predictie |
| 3 | 15 minuten vliegen | (meekijken/rust) | met predictie-1 |
| 4 | (meekijken/rust) | 15 minuten vliegen | met predictie-1 |
| 5 | 15 minuten vliegen | (meekijken/rust) | met predictie-2 |
| 6 | (meekijken/rust) | 15 minuten vliegen | met predictie-2 |
| 7 | 20 oefenscenario's | (meekijken/rust) | 10 met predictie-1, 10 met predictie-2 |
| 8 | (meekijken/rust) | 20 oefenscenario's | 10 met predictie-1, 10 met predictie-2 |

Experiment:

| blok | proefpersoon A | proefpersoon B | conditie (displaytype) |
|------|---|-------------------|------------------------|
| 9 | 3 oefenscenario's + 38 experimentele scenario's | rust | eerste conditie |
| 10 | rust | 3 + 38 scenario's | idem |
| 11 | 3 oefenscenario's + 38 experimentele scenario's | rust | tweede conditie |
| 12 | rust | 3 + 38 scenario's | idem |
| 13 | 3 oefenscenario's + 38 experimentele scenario's | rust | derde conditie |
| 14 | (rust) | 3 + 38 scenario's | idem |

REPORT DOCUMENTATION PAGE

| | | |
|--|--|--|
| 1. DEFENCE REPORT NUMBER (MOD-NL) RP 96-0155 | 2. RECIPIENT'S ACCESSION NUMBER | 3. PERFORMING ORGANIZATION REPORT NUMBER TM-96-A021 |
| 4. PROJECT/TASK/WORK UNIT NO. 788.1 | 5. CONTRACT NUMBER A89/KLu/335 | 6. REPORT DATE 6 May 1996 |
| 7. NUMBER OF PAGES 30 | 8. NUMBER OF REFERENCES 20 | 9. TYPE OF REPORT AND DATES COVERED Final |
| 10. TITLE AND SUBTITLE Help predictie-informatie in de cockpit bij het opsporen van doelvliegtuigen? (Predictive information in the cockpit as a target acquisition aid) | | |
| 11. AUTHOR(S) L. van Breda and J.A. Veltman | | |
| 12. PERFORMING ORGANIZATION NAME(S) AND ADDRESS(ES) TNO Human Factors Research Institute Kampweg 5 3769 DE SOESTERBERG | | |
| 13. SPONSORING/MONITORING AGENCY NAME(S) AND ADDRESS(ES) Director of Airforce Research and Development Binckhorstlaan 135 2516 BA DEN HAAG | | |
| 14. SUPPLEMENTARY NOTES | | |
| 15. ABSTRACT (MAXIMUM 200 WORDS, 1044 BYTE) Under contract to the Royal Netherlands Airforce, the TNO Human Factors Research Institute conducts background research concerning effects of advanced interface principles in the cockpit on flight performance, (de)sorientation and workload. In this connection, a simulator experiment was conducted to investigate the potential benefits of predictive information for tracking targets. Eight fighter pilots had to trace as soon as possible a target aircraft, initially flying from an arbitrary position at a fixed distance from the own aircraft. During the search of the target aircraft, the pilots received visual support by a perspective exocentric radar display with inside-out motion reference. In two experimental conditions, additional predictive graphics information was presented: based on extrapolation of translations of own aircraft and target aircraft, and based on translation and pitch. The difficulty of the scenarios was varied by directing the target towards and away from the observator. The experimental results show that pilots were not able to find the target faster when additional predictive information was presented in the radar image. The perspective radar display offered so many anticipation possibilities that no increase of target search time was possible. There even appeared a tendency to decreased search performance. This may be caused by the fact that too much information deteriorated the interpretation (display clutter). A follow-up study is proposed, investigating whether the situational awareness of the pilot still can be increased. The results of the ongoing experiments suggest that inside-out referenced displays cause more frequent controlled flight into ground. | | |
| 16. DESCRIPTORS Aircraft Displays Human Factors Tracking | | IDENTIFIERS Prediction |
| 17a. SECURITY CLASSIFICATION (OF REPORT) UNCLASSIFIED | 17b. SECURITY CLASSIFICATION (OF PAGE) UNCLASSIFIED | 17c. SECURITY CLASSIFICATION (OF ABSTRACT) UNCLASSIFIED |
| 18. DISTRIBUTION/AVAILABILITY STATEMENT Unlimited availability | | 17d. SECURITY CLASSIFICATION (OF TITLES) UNCLASSIFIED |